Visualiser la science des matériaux Vidéo étudiant : Le transfert de chaleur dans un matériau Certains contenus de ce vidéo ne sont pas libres de droits. Consultez le générique pour en savoir plus Bonjour à tous. Je m'appelle Morgan Binggeli.

Je suis étudiant en première année de Master à l'EPFL en Science et génie des matériaux et c'est moi qui vais vous présenter cette vidéo au sujet du transfert de chaleur dans un matériau.

Cette vidéo va débuter par une petite introduction dans laquelle je vais vous donner quelques définitions utiles dans le cadre des transferts de chaleur dans un matériau, puis elle continuera avec la présentation des différentes équations de la chaleur.

Par la suite, je vous présenterai quelques exemples plus ou moins simples, concrets, sur les transferts de chaleur dans des matériaux.

Afin de voir de manière adaptée les exemples qui vont suivre, il convient de donner quelques définitions.

Tout d'abord, dans le cadre de cette vidéo, la chaleur sera tout simplement considérée comme étant une forme de l'énergie.

La température sera, quant à elle, la manifestation mesurable de la chaleur stockée dans un matériau ou dans un corps.

Si l'on met en contact deux corps ayant des températures différentes, un transfert de chaleur aura lieu, transférant la chaleur du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

Il existe différents types de transfert de chaleur.

Tout d'abord, la conduction, qui correspond à un échange de chaleur entre deux points d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz immobile et opaque.

La convection correspond quant à elle à un échange de chaleur entre une paroi et un fluide, avec un transfert de la chaleur par le fluide en mouvement.

Enfin, le rayonnement correspond à un échange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent.

Puisque l'on va parler de transfert de chaleur dans cette vidéo, il est important de comprendre les équations qui régissent ce genre de phénomène.

Tout d'abord, la loi de conduction de la chaleur qui définit le flux diffusif thermique engendré par un gradient de température.

Le tout, linéairement corrélé par un coefficient de conduction thermique.

Ensuite, l'équation de la chaleur, qui comprend un terme dépendant du temps, un terme dépendant de la vitesse et qui correspond aux phénomènes d'advection qui peuvent se passer dans les petits transferts de chaleur, un terme comprenant la divergence du flux diffusif thermique, et finalement un terme source correspondant le plus souvent aux réactions chimiques, qu'elles soient endothermiques ou exothermiques.

En combinant les deux équations précédentes, on obtient une équation régissant les phénomènes de chaleur, qui est la suivante.

Nous allons maintenant appliquer ces équations à quelques exemples d'applications plutôt concrètes.

Comme premier exemple, nous prenons le cas d'un mur simple, d'épaisseur e, dans un état thermique stable, c'est à dire un état stationnaire et où la vitesse est égale à 0.

On suppose également qu'aucun terme source de chaleur dû à une quelconque réaction thermique est présent.

Ce mur est considéré comme mince avec un flux de chaleur unidirectionnel selon x.

Les températures des deux côtes du mur sont différentes avec T1 plus petit que T2.

On cherche à déterminer le profil de température dans ce mur.

Pour ce problème, il est adapté d'utiliser les coordonnées cartésiennes.

La température ne change que selon la direction x et on peut s'attendre à voir une distribution de la température homogène dans les autres directions.

Les conditions de ce problème permettent de simplifier l'équation de la chaleur présentée auparavant de la manière suivante.

On pose comme condition limite que la température en x=0 vaut T1, ici, et la température en x=e vaut T2, ici.

Maintenant que le système d'équations a été défini, on peut le poser et tenter de le résoudre.

Tout d'abord, on définit le système d'équations et ses conditions limites, puis on va essayer de résoudre l'équation différentielle.

La solution est la suivante.

On remarque que cette solution est valable pour une certaine valeur e, c'est à dire pour une certaine épaisseur du mur.

Afin d'avoir une solution plus générale, ne dépendant pas d'une épaisseur quelconque d'un mur, un changement de variable est effectué.

La température n'est plus en fonction d'uniquement x, comme c'est le cas ici, mais du rapport x/e, qui varie donc entre 0 et 1.

C'est à dire entre le début du mur à 0 et la fin du mur à e/e c'est à dire 1.

On pose le nouveau système d'équations et on tente de le résoudre.

La solution a l'allure suivante.

En changeant la disposition de l'équation, on peut voir que l'équation est de la forme suivante.

On peut tenter de généraliser cette expression à l'ensemble des cas en effectuant les transformations suivantes.

Ainsi, on se retrouve avec une solution ne dépendant que de x/e.

Ainsi, le profil de la température pour ce cas a l'allure suivante.

On remarque que c'est une courbe linéaire selon x partant de T1 et arrivant à T2 du début à la fin du mur.

On peut visualiser la solution de manière plus claire en regardant comment la température est répartie dans le mur.

Ainsi, la température est répartie de la manière suivante dans le mur.

On voit bien que le dégradé est linéaire, avec le côté le plus chaud de ce côté, et le côté le plus froid ici, à T1, et ici à T2.

C'en est tout pour cet exemple d'un mur de maison.

On passe maintenant au cas d'un mur qui vient d'être construit.

Dans ce deuxième exemple, on prend un mur de béton d'épaisseur e en train de durcir grâce à une réaction chimique exothermique.

Il s'agit dans ce cas d'un phénomène tel que l'hydratation du béton.

On suppose que les deux surfaces extérieures sont gardées à la même température, Tw et on suppose également que nous sommes dans un cas stationnaire et que le béton est immobile.

Pour ce problème, il parait adapté d'utiliser les coordonnées cartésiennes.

La température ne change que selon la direction x et on peut s'attendre à voir une distribution de la température homogène dans les autres directions.

Les conditions de ce problème permettent de simplifier l'équation de la chaleur présentée auparavant, qui devient ceci.

On pose les conditions de limite définies auparavant, c'est à dire que la température en 0 et en e est égale à Tw.

Le système d'équations ainsi posé est le suivant, et on peut le résoudre de la manière suivante.

De la même manière que pour le problème précédent, on peut essayer d'obtenir une réponse générale utilisable dans un grand nombre de cas.

Ainsi, on effectue le même changement de variable qu'auparavant en supposant que la température ne varie plus seulement uniquement en fonction de x mais en fonction de x/e.

Et donc que le rapport x/e varie entre 0 et 1 pour les mêmes raisons qu'auparavant.

Ce système est défini de la manière suivante et on peut le résoudre afin d'avoir la réponse suivante.

Afin d'adimensionnaliser le résultat, on peut passer tous les termes ne dépendant pas du rapport x/e de l'autre côté de l'équation.

Cela nous donne la solution suivante.

Ainsi, le profil de température pour ce cas a l'allure suivante.

On remarque bien une certaine symétrie dans la réponse avec un maximum de chaleur au centre de la pièce là où la température est la plus élevée, et un minimum dans les façades de la pièce, là où la température vaut Tw.

On peut également voir la répartition de la température dans le mur, où on voit bien que la température est la plus élevée au centre du mur et la plus faible à Tw sur les façades du mur.

Comme troisième exemple, on prend le cas d'un traitement thermique en continu.

Pour cet exemple, on considère une fine barre d'acier effectuant un procédé de traitement thermique en continu.

La barre est en effet extraite à la vitesse v d'un four chauffé à une température T0 puis est trempée après une distance L dans un bain d'eau maintenu à une température TL.

On cherche à déterminer le profil de température dans la barre entre la sortie du four et l'entrée du bain lorsqu'un régime stationnaire est établi.

Pour ce problème, il est adapté d'utiliser des coordonnées cartésiennes.

La barre étant fine, on suppose que la température est uniforme dans une section transversale de la barre, c'est à dire que le champ de température T ne dépend que de la position x.

Les conditions de ce problème permettent de simplifier l'équation de la chaleur présentée auparavant de la manière à n'avoir plus que cette équation-ci.

On pose comme condition limite le fait que, en 0, la température vaille T0, et en L la température vaille TL.

Ainsi, on pose le système d'équations suivant et on le résout.

La solution a l'allure suivante, qui parait quelque peu complexe.

Cependant, on peut simplifier ce résultat en sachant que le facteur ρCp/k est égal à 1/α, où α est le coefficient de diffusivité thermique du matériau.

Ainsi, notre solution a l'allure suivante.

On peut encore simplifier la lecture de cette équation en la réécrivant de cette manière.

De la même manière que pour les exemples précédents, on cherche à donner une réponse générale.

Dans cet exemple, celle-ci a la forme suivante.

On retrouve ici la solution trouvée auparavant Il faut savoir que le rapport vL/α est en réalité un nombre adimensionnel, le nombre de Peclet.

Celui-ci définit le rapport entre les phénomènes d'advection et de diffusion d'un procédé.

On peut ainsi le remplacer dans la relation précédente.

Ici, on le remplace au dénominateur, et ici, au numérateur.

Finalement, de la même manière que cela a été réalisé pour les exemples précédents, on effectue un léger changement de variable on repasse en x/L par la variable x/L.

On peut essayer de comprendre le fonctionnement du nombre adimensionnel de Peclet en faisant varier le profil de la température en fonction de sa valeur.

Voici le résultat.

Pour un nombre de Peclet faible, lorsque le nombre de Peclet augmente, on remarque que la courbe a tendance à se creuser.

Cela est peut-être encore plus visible lorsqu'on essaye de tracer le profil de la température dans cette barre pour plusieurs nombres de Peclet et d'avoir le résultat pour ces différents nombres en même temps.

Ainsi, on définit une liste de nombres de Peclet auxquels on applique la solution trouvée auparavant et ainsi, le graphique a l'allure suivante.

Voici l'allure du graphique pour les différents nombres de Peclet avec en bleu le plus faible et, pour la courbe la plus creusée en brun ici un nombre de Peclet égal à 100.

Finalement, on peut encore représenter ce résultat dans un mur en laissant un nombre de Peclet variable.

On voit que, comme auparavant, si le nombre de Peclet est faible, on a un résultat qui ressemble plutôt à un résultat linéaire avec le maximum en L et le minimum en 0.

Et que lorsqu'on augmente, le résultat n'est plus du tout linéaire et l'augmentation de température se fait au plus proche de cette façade.

Voilà, c'en est tout pour cette vidéo.

Vous trouvez ici en bas les références qui m'ont aidé à la réaliser, et je vous remercie pour votre attention.